

PH.D.E.Q.B.N.Q.G.W.D.

MAT

(x)

19 BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

(21) Aktenzeichen: P 38 13 479.9  
(22) Anmeldetag: 21. 4. 88  
(43) Offenlegungstag: 10. 11. 88

⑤1 Int. Cl. 4;

A61B 5/06

A 61 M 16/04  
G 01 V 3/12

IP & S-DE  
zugestellt  
am 23. Aug. 2004  
Frist

DE 3813479 A1

30 Unionspriorität: 32 33 31

21.04.87 US 040614

⑦1 Anmelder:

**McCormick Laboratories, Inc., Chelmsford, Mass.,  
US**

74 Vertreter:

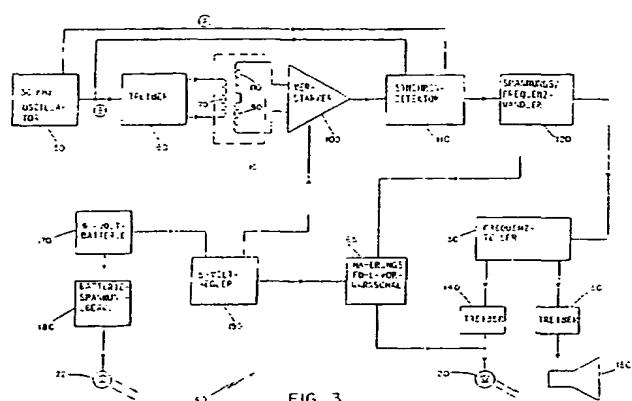
**von Bezold, D., Dr.rer.nat.; Schütz, P., Dipl.-Ing.;  
Heusler, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 8000 München**

## ⑦2 Erfinder:

MacCormick, William, Carlisle, Mass., US;  
O'Donnell, Miles C.; Ashley-Rollman, Charles,  
Andover, Mass., US

#### **(54) Einrichtung zur genauen Lokalisierung von ferromagnetischem Material in biologischem Gewebe**

Die beschriebene Einrichtung zur genauen Lokalisierung und Überwachung der Position eines Objekts in biologischem Gewebe, insbesondere eines Endotrachealschlauches im Hals eines Patienten, enthält eine Schaltung, die ein bezüglich seiner Breite und Tiefe begrenztes elektromagnetisches Feld erzeugt, welches durch die Anwesenheit von Material mit einer hohen magnetischen Permeabilität, wie durch ein Metallband am fernen Ende eines derartigen Endotrachealschlauches, gestört wird, welches jedoch sonst stabil ist und nicht durch Temperatur oder andere solche Faktoren beeinträchtigt wird. Die Erfindung umfaßt einen Fühler zur Erzeugung des elektromagnetischen Feldes, welcher gegen Temperaturänderungen unempfindlich ist.



kein MPT

DE 3813479 A1

## Patentansprüche

1. Einrichtung zur genauen Detektierung eines Objekts mit ferromagnetischen Eigenschaften in einer bestimmten begrenzten Entfernung in biologischem Gewebe, die im wesentlichen unempfindlich ist gegen äußere Temperaturänderungen und ähnliche Einflüsse, gekennzeichnet durch  
eine Stromquelle (170), die mit der Einrichtung verbunden ist,  
einen Fühler (14) mit einer Primärwicklung (70) und mindestens zwei Sekundärwicklungen (80, 90),  
eine Anordnung (50, 60) zum Erzeugen eines alternierenden Ausgangssignals, um die Primärwicklung (70) zu aktivieren, welche im aktivierte Zustand ein begrenztes Feld erzeugt, das in den Sekundärwicklungen (80, 90) Wechselspannungen erzeugt, die ungefähr gleich sind und einander aufheben, so daß die Ausgangsspannung des Fühlers (14) ungefähr Null ist, wenn sich das zu detektierende Objekt außerhalb einer bestimmten begrenzten Entfernung von einer der Sekundärwicklungen (80, 90) befindet, jedoch ungleiche Spannungen in den Sekundärwicklungen (80, 90) hervorruft, die einander nicht aufheben, so daß der Fühler (14) eine Netto-Wechselspannung abgibt, wenn sich das Objekt innerhalb einer bestimmten begrenzten Entfernung von einer der Sekundärwicklungen (80, 90) befindet,  
eine Detektionsanordnung (100, 110) zum Detektieren einer Netto-Wechselspannung von dem Fühler (14), wobei die Detektionsanordnung (100, 110) einen Verstärker (100) für eine solche Netto-Wechselspannung von dem Fühler (14) und eine Anordnung (110) zum Umwandeln einer solchen von dem Verstärker (100) verstärkten Netto-Wechselspannung in eine Gleichspannung, deren Größe die Nähe des Objekts von einer der Sekundärwicklungen (80, 90) wiedergibt,  
eine Konverteranordnung (120) zum Konvertieren zu der Gleichspannung von der Anordnung (110) zum Umwandeln in ein Ausgangssignal, und  
eine Alarmaneinrichtung (130, 140, 150, 20, 160), die durch das Ausgangssignal der Konverteranordnung (120) aktiviert wird.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Fühler (14) drei Sekundärwicklungen (80, 90, 95) aufweist, von denen zwei die Haupt-Sekundärwicklungen (80, 90) zum Erzeugen der Netto-Wechselspannung des Fühlers (14) umfassen, wenn sich das Objekt in einer bestimmten begrenzten Entfernung befindet, wogegen die dritte Sekundärwicklung eine kleine Ausgleichswicklung (95) umfaßt, die mit einer der anderen Sekundärwicklungen (80, 90) in Serie geschaltet ist, um den Abgleich der in diesen induzierten Spannung zu erlauben, wenn sich das Objekt nicht in einer bestimmten begrenzten Entfernung befindet.
3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstärker (100) ein Paar von in Serie geschalteten nichtinvertierenden Verstärkern (Z4, Z5) enthält, die jeweils eine Verstärkung einer resultierenden Netto-Wechselspannung der Sekundärwicklungen (80, 90) bewirken.
4. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung (110) zum Umwandeln ein Synchronwandler ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

70

2

5. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Konverteranordnung (120) ein Spannungs/Frequenz-Wandler ist, wobei die Frequenz von dessen Ausgangssignal proportional zur Größe der Gleichspannung von der Anordnung (110) zum Umwandeln ist.
6. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Alarmaneinrichtung (130, 140, 150, 20, 160) eine Frequenzteilerschaltung (130) enthält, die das Ausgangssignal von der Konverteranordnung (120) teilt und die geteilten Signale einer Leuchtdiode (20) und einem hörbaren Alarmpiepser (160) zuführt.
7. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Näherungsfühl- oder Vorwarnschaltung (165), die von der Konverteranordnung (120) ein zweites Ausgangssignal aufnimmt, welches anzeigt, daß die Konverteranordnung (120) im Begriff ist, ein Ausgangssignal für die Alarmaneinrichtung zu erzeugen, und da auf einem Vergleich des zweiten Ausgangssignals mit einer Bezugsspannung basiert, wobei die Vorwarnschaltung (165) die Alarmaneinrichtung aktiviert, um eine Vorwarnung eines vorliegenden Ausgangssignals der Konverteranordnung (120) abzugeben.
8. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Spannungsregler (190), der mit der Stromquelle (170) verbunden ist und über einen Spannungsteiler verschiedene Bezugsspannungen für die Elemente der Einrichtung erzeugt.
9. Fühler zum genauen Detektieren von ferromagnetischem Material, der gegen Temperaturänderungen unempfindlich ist, gekennzeichnet durch einen Kern (72) mit einem geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, einer Primärwicklung (70) und zwei Sekundärwicklungen (80, 90), die gleichmäßig auf den Kern (72) gewickelt sind, wobei die Sekundärwicklungen (80, 90) gleiche Abstände von der Primärwicklung (70) aufweisen, und wobei eine der Sekundärwicklungen (80, 90) der Spitze (16) des Kerns (72) benachbart ist, wobei die Primärwicklung (70) von den Sekundärwicklungen (80, 90) durch ein Paar von Wandungen (78, 82) getrennt sind mit einer dünnen Ausdehnungswandung (84), die einem leeren Schlitz (106) benachbart ist, welcher der von der Spitze (16) des Kerns (72) entfernten Sekundärwicklung (90) am nächsten angebracht ist, um eine gleiche Ausdehnung und Zusammenziehung der beiden Sekundärwicklungen (80, 90) zu erlauben, und eine in einem Schlitz (104) angebrachte Ausgleichswicklung (95), die mit einer der Sekundärwicklungen (80, 90) in Serie geschaltet ist, um die in den Sekundärwicklungen (80, 90) durch die Primärwicklung (70) induzierten Spannungen auszugleichen, wenn ein durch die Primärwicklung (70) erzeugtes Feld nicht durch ein ferromagnetisches Material gestört ist, und eine Epoxy-Beschichtung für die Wicklungen, welche ungefähr den gleichen Ausdehnungskoeffizienten hat wie der Kern (72).
10. Fühler nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern (72) einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten unter  $8,2 \times 10^{-5} \text{ cm}/^\circ\text{C}$  ( $1,8 \times 10^{-5} \text{ inch}/^\circ\text{F}$ ) aufweist.
11. Fühler nach Anspruch 9 oder 10, dadurch ge-

kennzeichnet, daß der Kern (72) aus Polycarbonat mit einer Glasfüllung hergestellt ist.

12. Fühler nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Epoxy Isochem No. 213 mit Härter 67LK ist.

13. Fühler nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandungen (78, 82, 84) vertikale Schlitze (94, 96) aufweisen, um die Drähte für die Wicklungen zu führen, so daß diese gleichmäßig gewickelt werden können.

14. Verfahren zur Herstellung eines gegen Temperaturänderungen im wesentlichen unempfindlichen Fühlers nach einem der Ansprüche 9 bis 13, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

Herstellung eines zylindrischen Kerns aus einem Kunststoff mit einem geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten,

Herstellung einer Reihe von drei ersten ringförmigen Schlitten und zwei zweiten ringförmigen Schlitten in dem Kern,

Beschichtung der drei ersten ringförmigen Schlitte mit einem Epoxy mit ungefähr dem gleichen gerin- gen thermischen Ausdehnungskoeffizienten wie der Kern,

enges Wickeln der drei ersten ringförmigen Schlitte mit Draht in gleichmäßigen Schichten und Imprägnieren der sich ergebenden Wicklungen mit dem Epoxy,

Abgleichen der Wicklungen mit einer vierten Ausgleichswicklung, die in einem der zweiten ringförmigen Schlitte hinzugefügt wird,

Beschichten der Ausgleichswicklung mit dem Epoxy, Ausbacken des Kerns und der Wicklungen, und zyklisches Erhitzen und Abkühlen des ausgebackenen Kerns.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der thermische Ausdehnungskoeffizient geringer ist als  $8,2 \times 10^{-5} \text{ cm}/^\circ\text{C}$  ( $1,8 \times 10^{-5} \text{ inch}/^\circ\text{F}$ ).

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern aus Polycarbonat mit einer Glasfüllung hergestellt ist.

#### Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur genauen Lokalisierung eines Objekts in biologischem Gewebe, insbesondere von ferromagnetischem Material am Ende eines Endotrachealschlauches, wenn dieser in der Luftröhre (Trachea) eines medizinischen Patienten angeordnet ist.

Es ist notwendig sicherzustellen, daß die Atemwege von bestimmten medizinischen Patienten, z.B. von solchen bei einer Operation oder in der Intensivpflege, stets offen gehalten werden. Dies erfolgt bisher mittels eines Endotrachealschlauches, der durch die Nase oder den Mund des Patienten eingeführt ist und sich durch den Hals des Patienten und in die Luftröhre (Trachea) des Patienten erstreckt. Diese bekannten Schläuche oder Röhren sind hohl und an beiden Enden offen und das Ende, das sich außerhalb des Mundes oder der Nase erstreckt, wird an seinem Platz gehalten, üblicherweise mittels eines Klebebandes. Auf diese Weise kann Luft durch den Schlauch in und aus den Lungen des Patienten strömen.

Der Hauptnachteil der bekannten Schläuche besteht darin, daß das ferne Ende des Schlauches in dem Patienten an eine verhältnismäßig genau festgelegte Stelle ein-

geführt und dort gehalten werden muß, welche sich ungefähr in der Mitte der Luftröhre befindet. Dies hat seinen Grund darin, daß, wenn der Schlauch zu weit in die Luftröhre eingeführt ist, dessen fernes Ende bis in den Bronchialast einer Luft reichen kann und daher die andere Lunge keine Luft aufnehmen und kollabieren wird. Andererseits, wenn das ferne Ende des Schlauches nicht weit genug eingeführt ist, kann es durch die Stimmbänder behindert werden. Ein anderes Problem in diesem Zusammenhang besteht darin, daß beim Einführen des Schlauches das ferne Ende desselben in die Speiseröhre eintreten kann, welche sich hinter der Luftröhre befindet, und somit keine Luft zu den Lungen gelangt.

Bei einem normalen Erwachsenen hat die Luftröhre eine Länge von ungefähr 11 Zentimetern und das ferne Ende des Schlauches hat ungefähr in der Mitte der Luftröhre seine richtige Position. Es kann dort an seinem Platz gehalten werden, indem ein an den Schlauch angebrachter Ballon aufgeblasen wird. Diese Positionierung hat jedoch bei Kindern oder Kleinkindern, deren Luftröhren wesentlich kürzer sind, eine sehr viel kleinere Fehlertoleranz. Darüberhinaus bewirkt eine Bewegung des Patienten, sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern, selbst wenn der Schlauch ursprünglich an seinem richtigen Platz angebracht ist, daß der Schlauch sich nach oben oder unten bewegt, und daher muß die Position des fernsten Endes des Schlauches nicht nur zu Beginn genau überwacht werden, sondern andauernd.

Daher besteht das allgemeine Ziel der Erfindung darin, eine Einrichtung zu schaffen, um die ursprüngliche Positionierung und die spätere Überwachung eines Endotrachealschlauches in der Luftröhre eines Patienten augenblicklich zu unterstützen.

Ein spezielles Ziel der Erfindung besteht darin, solche Einrichtungen zu schaffen, welche gleichförmig eine begrenzte Detektionsstiefe aufweisen, so daß die Detektion von Signalen vermieden wird, wenn eine Intubation in die Speiseröhre vorliegt.

Ein weiteres spezielles Ziel der Erfindung besteht darin, eine solche Einrichtung zu schaffen, bei der die gesamte Schaltung einschließlich von Feldwindungen nicht auf die Änderung der Temperatur oder auf andere derartige Änderungen empfindlich ist, welche andernfalls eine Abweichung des Feldes oder eine Variation in der Schaltung hervorrufen würden, wovon die Folge ein falsch detektiertes Signal wäre.

Durch die vorliegende Erfindung wird eine Einrichtung zur genauen Lokalisierung bzw. Detektierung und Überwachung der Position eines Objekts in biologischem Gewebe geschaffen, welche eine Schaltung enthält, die ein elektromagnetisches Feld begrenzter Breite und Tiefe erzeugt, und welches durch die Anwesenheit von Material mit hoher magnetischer Permeabilität gestört wird, welches jedoch sonst stabil ist und nicht durch die Temperatur oder andere derartige Faktoren beeinflußt wird.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird ein Fühler mit einer Primärwicklung und zwei sekundären Hauptwicklungen dazu verwendet, einen Endotrachealschlauch mit einem Metallband in der Nähe seines fernsten Endes zu detektieren. Die Primärwicklung wird durch einen 30 KHz-Oszillator erregt, dessen Ausgangssignal der Wicklung über eine Treiberschaltung zugeführt wird, welche die erforderlichen großen Ströme erzeugt. Die Primärwicklung des Fühlers ruft dann ein elektromagnetisches Feld hervor, welches die beiden, in Serie geschalteten Sekundärwicklungen umgibt, wodurch in diesen eine Spannung induziert

wird. Die jeweiligen Spannungen der Sekundärwicklungen heben einander auf, solange das Feld ausgeglichen wird. Durch das Metallband am fernen Ende des Endotrachealschlauches wird das Feld gestört. Wenn das Band sich der Achse einer der Sekundärwicklungen nähert, so nimmt diese Wicklung einen größeren Fluß auf, was in einer in ihr induzierten größeren Spannung resultiert. Die Spannungen an den Sekundärwicklungen haben sich nicht länger auf und dies führt zu einer Netto-Ausgangsspannung, welche dazu verwendet wird, ein Detektionssignal zu erzeugen.

Jede Netto-Spannung von den Sekundärwicklungen des Fühlers wird zuerst verstärkt und dann an einen Synchrodetektor abgegeben, welcher, da er durch den eigenen 30 KHz-Oszillator getaktet wird, solche Signale nicht annimmt, welche nicht von den Fühlerwicklungen ausgehen. Gleichzeitig wandelt der Detektor die Wechselspannung in ein Gleichspannungssignal um, das im wesentlichen von Fehlern frei ist, was zu einer Temperaturstabilität für die Schaltung führt. Dieses Gleichspannungssignal, dessen Größe die Nähe des Metallbandes anzeigt, wird dann mittels eines präzisen Spannungs/Frequenz-Wandlers in eine proportionale Frequenz umgewandelt. Der Konverter hat eine wohldefinierte Schwellenwertspannung, was nicht nur sicherstellt, daß die Einrichtung eine spezifische, vorgegebene Empfindlichkeit aufweist (welche so eingestellt ist, daß eine Detektion eines Schlauches in der Speiseröhre ausgeschlossen ist), sondern auch, daß jede Einrichtung die gleiche Empfindlichkeit hat, und Variationen in der Schaltung infolge von Temperaturänderungen weiter vermindert werden. Jede Ausgangsfrequenz des Wandlers wird dann geteilt und dazu verwendet, Anzeige- oder Alarmvorrichtungen für die Detektion anzutreiben, welche sowohl einen hörbaren Piepser als auch eine Leuchtdiode umfassen. Zusätzlich enthält die Schaltung einen Komparator, der dazu verwendet wird, die Leuchtdiode als eine zu einem frühen Zeitpunkt sichtbare Anzeige für die Detektion in Betrieb zu setzen und einen Spannungsregler, welcher die kritischen Elemente der Schaltung mit einer konstanten Spannung versorgt, selbst wenn sich die Batteriespannung ändert oder abnimmt. Weiterhin ist ein Detektor für eine niedrige Spannung der Batterie vorgesehen.

Die Temperaturstabilität der Einrichtung ebenso wie des von ihr erzeugten begrenzten Feldes hängt auch von dem Fühler selbst ab. Der Fühler selbst enthält einen Kern aus Polycarbonat mit einer Glasfüllung, welcher einen geringen thermischen Ausdehnungskoeffizient aufweist. In den Kern sind Rillen für die Wicklungen eingearbeitet, wobei es getrennte Rillen für die Primärwicklung und für jede der beiden Sekundärwicklungen gibt. Auch kann eine vierte Rille für eine Justierwicklung vorgesehen sein, wenn dies notwendig ist, um den Abgleich der beiden Sekundärwicklungen zu erleichtern. Die Wicklungen selbst sind mit gleichförmigen Lagen aufgebracht und auf dem Kern mit Epoxyharz befestigt. Sobald die Wicklungen hergestellt sind, wird zusätzlich unter Vakuum Epoxyharz aufgebracht, um die Wicklungen zu imprägnieren. Die Stabilisierung des Fühlers wird erhöht, indem der Fühler mit abgeglühten Wicklungen wiederholt ausgeheizt und abgekühlt wird. Um zusätzlich sicherzustellen, daß jede auftretenden Ausdehnung der Sekundärwicklungen bei beiden gleichmäßig auftritt (um das Feld abgeglichen zu halten), wird der Kern weiterhin mit einer Ausdehnungsrolle neben der Sekundärwicklung am weitesten von der Spitze des Fühlers entfernt versehen. Das Er-

gebnis ist ein Fühler, der gegen die Abgabe falscher, Signale durch Temperaturänderungen oder andere ähnliche Faktoren unempfindlich ist, und der reproduzierbar ist, so daß jede Anzahl derartiger Fühler unter gleichen Bedingungen gleiche Ausgangssignale abgeben werden.

Im folgenden werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung erläutert, es zeigen:

10 Fig. 1 eine perspektivische Darstellung der erfundungsgemäßen Einrichtung mit einem Endotrachealschlauch, der in der Nähe seines fernen Endes ein Metallband aufweist;

15 Fig. 2 eine perspektivische Ansicht der Erfindung bei der Anwendung;

Fig. 3 ein Blockschaltbild der Schaltung der erfundungsgemäßen Einrichtung;

Fig. 4 ein schematisiertes Diagramm der Gesamt-schaltung der erfundungsgemäßen Einrichtung;

20 Fig. 5 eine Draufsicht auf den Kern des Fühlers gemäß der Erfindung;

Fig. 6 einen Querschnitt des Kerns des Fühlers nach Fig. 5 längs den Linien 6-6;

25 Fig. 7 einen Querschnitt des Fühlers mit angebrach-ten Wicklungen; und

Fig. 8 eine vergrößerte Ansicht des mit einem Kreis gekennzeichneten Bereichs des Kerns des Fühlers nach Fig. 5 mit an seinem Platz angeordnetem Wicklungs-draht.

30 In Fig. 1 ist die erfundungsgemäße Detektionseinrich-tung mit dem Bezugszeichen 10 dargestellt. Grob gese-hen enthält sie ein Schaltungsgehäuse 12 mit einem Füh-ler 14, der eine Detektionsspitze 16 aufweist. Am Boden des Gehäuses 12 ist ein Schalter 18 vorgesehen und eine (rote) Alarm-Leuchtdiode 20 ist in der Nähe des Fühlers 14 dessen Detektionsspitze 16 gegenüberliegend angeordnet. Eine zweite (grüne) Leuchtdiode 22 ist am Ende des Gehäuses 12 als Anzeige für den Ladezustand der Batterie angeordnet. In Fig. 1 ist weiterhin ein Endotra-chealschlauch 24 zur Verwendung mit dem Detektor 10 dargestellt. Der Endotrachealschlauch 24 enthält ein Verbindungsstück 26, welches sich außerhalb des Mundes des Patienten befindet, wenn der Schlauch an sei-nem Platz ist, und ein hohler Schlauch 28 erstreckt sich

35 von dem Verbindungsstück 26 zu einer ferner Spitze 30. In der Nähe der fernen Spitze 30 ist ein Metallband 32 angebracht. Der spezielle Schlauch 24 und das Verfah-ren zu dessen Herstellung ist in der US-Patentanmel-dung Ser.Nr. 8 10 015 (eingereicht am 17. Dezember 1985) beschrieben, auf die hier Bezug genommen wird.

Ein Blockdiagramm der Schaltung 40 der erfundungs-gemäßen Einrichtung ist in Fig. 3 gezeigt. Die Gesamt-schaltung 40 enthält im wesentlichen einen Oszillator 50 und eine Treiberschaltung 60, welche eine Primärwick-lung 70 des Fühlers 14 erregen, um ein elektromagneti-sches Feld zu erzeugen. Der Fühler 14 weist ein Paar von in Serie geschalteten Sekundärwicklungen 80, 90 auf (welche einander gegensinnig gewickelt sind), deren Ausgangsanschlüsse mit einer Verstärkerschaltung 100 verbunden sind. Der Verstärker 100 ist seinerseits mit einem Synchrodetektor 110 gekoppelt, dessen Aus-gang zu einem Spannungs/Frequenz-Wandler 120 führt. Der Frequenzausgang des Wandlers 120 führt zu einer Frequenzteilerschaltung 130, deren Ausgangssignale ei-nem Paar von Treiberverstärkern 140, 150 zugeführt werden, die die Alarm-Leuchtdiode 20 ebenso wie eine hörbare Alarmeinrichtung 160 steuern. Weiter ist für die Leuchtdiode 20 eine Vorwarn- oder Näherungsfühl-

schaltung 165 vorgesehen. Weiterhin zeigt Fig. 3 eine Batterie 170 für die gesamte Schaltung (deren Anschlüsse in Fig. 4 dargestellt sind), die mit einer Batteriespannungsüberwachungsschaltung 180 auf niedrige Batteriespannung verbunden ist, welche eine Leuchtdiode 22 ansteuert. Die Batterie 170 versorgt auch einen 5-Voltregler 190, der verschiedene der Schaltungselemente mit spezifischen Spannungen versorgt.

Im einzelnen ist die Schaltung 40 in Fig. 4 dargestellt. Dort besteht der Oszillator 50, der ein monostabiler CMOS-Oszillaor ist, aus drei in Serie geschalteten Invertierern Z1, Z2 und Z3. Ein strombegrenzender Widerstand R1 ist mit dem Eingang des ersten Invertierers Z1 verbunden, die Oszillatorschaltung wird durch ein Paar von Rückkopplungseinrichtungen vervollständigt. Im einzelnen ist ein Kondensator C1 zwischen den Widerstand R1 und den Ausgang des zweiten Inverters Z2 geschaltet, während ein Widerstand R2 zwischen den Widerstand R1 und den Ausgang des dritten Inverters Z3 geschaltet ist. Die Ausgänge der Inverter Z2, Z3 sind komplementär und mit A bzw. B bezeichnet.

Der Ausgang B des letzten Inverters Z3 der Serie ist mit dem Treiberverstärker 60 verbunden, der im wesentlichen aus einem Paar von komplementären VMOS-FET's Q1, Q2 besteht. Die Gate-Elektroden jedes FET Q1, Q2 sind mit dem Ausgang des Oszillators 50 verbunden. Die Source-Elektrode des FET Q1 ist mit dem +5 Volt-Anschluß des Spannungsreglers 190 verbunden, während die Source-Elektrode des FET Q2 mit Masse verbunden ist. Die beiden Drain-Elektroden der jeweiligen FET's sind miteinander und mit einem Gleichstromsperrkondensator C2 verbunden.

Der Fühler 14 ist an die Treiberschaltung 60 angeschlossen. Der Fühler 14 ist tatsächlich ein Transistor, dessen Primärwicklung 70 zwischen den Sperrkondensator C2 der Treiberschaltung 60 und die Source-Elektrode FET Q2 geschaltet ist. Die beiden Sekundärwicklungen 80, 90 sind mit einer dritten, Abgleichwicklung 95 (die im Blockdiagramm der Fig. 3 nicht dargestellt ist) in Serie geschaltet. Der spezielle Aufbau des Transformators ist in den Fig. 5 bis 8 gezeigt und wird später diskutiert. Ein Dämpfungswiderstand R3 ist den Sekundärwicklungen 80, 90, 95 parallelgeschaltet, und das Ausgangssignal der Sekundärwicklungen wird über ein aus einem Widerstand R4 und einem Kondensator C3 bestehendes Filter der Verstärkerschaltung 100 zugeführt.

Die Verstärkerschaltung 100 enthält zwei Stufen. Eine erste Stufe Z4 des Verstärkers nimmt jede Netto-Spannung von den Sekundärwicklungen 80, 90 auf, und ist mit einem Rückkopplungskondensator C4 und Widerständen R5 und R6 verbunden. Die zweite Stufe Z5 des Verstärkers ist ähnlich aufgebaut. Sie erhält das Ausgangssignal der ersten Stufe Z4 und verstärkt es weiter. Die zweite Verstärkerstufe Z5 weist ebenso einen Rückkopplungskondensator C5 und Serienwiderstände R7, R8 auf. Eine Vorspannung von 3,5 Volt wird den beiden Stufen Z4, Z5 von dem Spannungsregler 190 zugeführt.

Das Ausgangssignal von dem zweistufigen Verstärker 100 gelangt zu dem Synchrodetektor 110, der ein Paar von Analogschaltern Z6 und Z7 enthält. Vor die Schalter Z6, Z7 sind ein Speicherkondensator C6 und ein Widerstand R9 in Serie geschaltet. Die Schalter Z6, Z7 selbst werden durch den Oszillator 50 getaktet. Im einzelnen ist der Schalter Z6 mit dem Ausgang B des dritten Inverters Z3 der Serie im Oszillator 50 verbunden, während der Schalter Z7 mit dem komplementären

Ausgang A des zweiten Inverters Z2 des Oszillators 50 gekoppelt ist. Zur Vervollständigung des Detektors 110 sind ein Kondensator C7 und ein Begrenzungswiderstand R10 den Schaltern Z6, Z7 parallelgeschaltet.

Das Ausgangssignal des Synchrodetektors 110 wird dem Spannungs/Frequenz-Wandler 120 zugeführt, welcher aus drei Stufen aufgebaut ist. Das Ausgangssignal von dem Synchrodetektor 110 gelangt zu einem ersten Eingang eines Fehlerverstärkers Z8 für den Konverter 120, wobei dieser Eingang auch mit einer Diode D1 verbunden ist. Ein zweiter Eingang des Fehlerverstärkers Z8 ist über einen Widerstand R11 mit einem einstellbaren Widerstand R12 verbunden, durch welchen der Schwellenwert für den Verstärker Z8 und damit für die gesamte Einrichtung 10 eingestellt wird. Der Widerstand R12 ist so ausgelegt, daß er nur fabrikseitig einstellbar ist. Der Ausgang des Fehlerverstärkers Z8 ist über einen Widerstand R13 mit einem spannungsgesteuerten Oszillator verbunden, welcher eine Serie von drei Invertierern Z9, Z10, Z11 enthält. Die Anordnung der Invertierer Z9, Z10 und Z11 ist ähnlich der des Oszillators 50. Im einzelnen ist ein Rückkopplungswiderstand R14 in Serie mit einer Diode D2 den drei Invertierern Z9, Z10 und Z11 parallelgeschaltet, während ein Rückkopplungskondensator C10 zwischen den Ausgang des zweiten Invertierers Z10 und den Eingang des ersten Invertierers Z9 geschaltet ist.

Der dritte und letzte Teil des Spannungs/Frequenz-Wandlers 120 besteht in einem Paar von komplementären Analogschaltern Z12, Z13. Der Schalter Z13 ist mit dem Ausgang des zweiten Invertierers Z10 verbunden, während der Schalter Z12 mit dem Ausgang des dritten Invertierers Z11 verbunden ist. Die beiden Schalter Z12, Z13 sind ebenfalls über einen Widerstand R15 miteinander verbunden und über einen Widerstand R16 auf den zweiten Eingang des Fehlerverstärkers Z8 zurück gefiltert.

Der Ausgang des Spannungs/Frequenz-Wandlers 120, wobei es sich tatsächlich um den Ausgang des zweiten Invertierers Z10 seines spannungsgesteuerten Oszillators handelt, ist mit der Frequenzteilerschaltung 130 verbunden, wobei es sich in erster Linie um einen zwölfstufigen binären Frequenzteiler Z14 handelt. Der Ausgang des Spannungs/Frequenz-Wandlers 120 ist mit dem Taktgeber dieses Dividierers Z14 verbunden, welcher zwei Ausgänge aufweist, nämlich einen geteilt-durch-zwei-Ausgang und einen geteilt-durch-vierund-sechzig-Ausgang. Der erstere ist mit der Treiberschaltung 150 für den Piepser 160 verbunden. Der letztere Ausgang ist mit der Treiberschaltung 140 für die Alarm-Leuchtdiode 20 verbunden. Der Dividierer Z14, bei dem es sich hier in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel um einen CMOS-Binärfrequenzteiler 4040 handelt, hat folgende Verbindungen. Klemme 8 ist mit Masse verbunden, Klemme 16 ist mit den +5 Volt vom Spannungsregler 190 verbunden. Klemme 11 ist über einen Widerstand R17 mit Masse und über einen Kondensator C11 mit +5 Volt, welche ebenso von dem Regler 190 geliefert werden, verbunden.

Die beiden Treiberschaltungen 140, 150 sind ähnlich. Im einzelnen ist der geteilt-durch-zwei-Ausgang von dem Teiler Z14 über einen Kondensator C13 mit der Gate-Elektrode eines VMOS-FET Q4 verbunden. Die Drain-Elektrode des FET Q4 ist mit dem Piepser 160 verbunden, seine Source-Elektrode liegt an Masse. Ein Widerstand R21 ist zwischen die Source-Elektrode und die Gate-Elektrode des FET Q4 geschaltet.

Der geteilt-durch-vierundsechzig-Ausgang des Dividierers  $Z_{14}$  ist über einen Kondensator  $C_{12}$  mit der Gate-Elektrode eines VMOS-FET  $Q_3$  gekoppelt. Die Drain-Elektrode des FET  $Q_3$  ist mit der Kathode der Alarm-Leuchtdiode  $20$  verbunden. Die Anode der Diode  $20$  liegt über einen Widerstand  $R_{19}$  an einer positiven Spannung. Die Source-Elektrode des FET  $Q_3$  ist mit Masse und ebenso über einen Widerstand  $R_{18}$  mit seiner Gate-Elektrode verbunden.

Die Vorwarn- oder Näherungsfühlschaltung  $165$  für die Leuchtdioden  $20$  enthält einen Verstärker  $Z_{15}$ , der ein erstes Eingangssignal direkt von dem Fehlerverstärker  $Z_8$  des Spannungs-Frequenz-Wandlers  $120$  erhält. Der zweite Eingang für den Verstärker  $Z_{15}$  ist durch eine  $1,5$  Volt Bezugsspannung von dem Spannungsregler  $120$  gebildet. Der Ausgang des Verstärkers  $Z_{15}$  ist über einen Widerstand  $R_{20}$  mit der Kathode der Leuchtdiode  $20$  gekoppelt.

Eine  $9$  Volt-Batterie  $170$  ist über einen Schalter  $18$  mit dem Spannungsregler  $190$  verbunden. Der Regler  $190$  enthält einen Spannungsregler  $Z_{16}$  mit drei Anschlüssen, welcher von der Batterie  $170$  eine Eingangsspannung erhält. Die Ausgangsspannung des Reglers  $Z_{16}$  beträgt  $+5$  Volt, welche von ihr zu verschiedenen Schaltungsteilen zugeführt wird. Ebenso ist sie mit einem aus drei Widerständen  $R_{22}$ ,  $R_{23}$  und  $R_{24}$  bestehenden Spannungsteiler verbunden, von welchem andere, niedrigere Bezugsspannungen der Verstärkerschaltung  $100$  ( $3,5$  Volt) und der Vorwarn- oder Näherungsfühlschaltung  $165$  ( $1,5$  Volt) zugeführt werden. Der Regler  $190$  wird durch einen Nebenschlußkondensator  $C_{15}$  vervollständigt, der dem gesamten Teiler parallelgeschaltet ist, und durch einen Nebenschlußkondensator  $C_{14}$ , der die Widerstände  $R_{22}$  und  $R_{23}$  des Teilers überbrückt.

Der Detektor  $180$  für die Überwachung der Batterie auf niedrige Spannung ist ebenfalls über den Schalter  $18$  mit der Batterie  $170$  verbunden. Ein programmierbarer Nebenschlußregler  $Z_{17}$  ist über einen Widerstand  $R_{25}$  mit der grünen Leuchtdiode  $22$  gekoppelt. Die Kombination ist der Batterie parallelgeschaltet, wenn der Schalter  $18$  geschlossen ist. Widerstände  $R_{26}$  und  $R_{27}$  sind ebenfalls der Batterie parallelgeschaltet und der Regeleingang des Reglers  $Z_{17}$  ist zwischen ihnen angeschlossen. Ein Kondensator  $C_{16}$  ist den Widerständen  $R_{26}$ ,  $R_{27}$  parallelgeschaltet, während eine Zenerdiode  $D_3$  den Kondensator  $C_{16}$  überbrückt.

Der Fühler  $14$  ist im Detail in den Fig. 5 bis 8 dargestellt. Wie am besten aus den Fig. 5 und 7 hervorgeht, enthält der Fühler  $14$  im wesentlichen einen zylindrischen Kern  $72$ . Der Kern  $72$ , welcher aus Kunststoff (Polycarbonat mit einer  $10\%$  Glasfüllung bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel) besteht, enthält einen verlängerten Bereich  $74$ , welcher die Wicklungen  $70$ ,  $80$ ,  $90$  beherbergt und sich aus dem Detektor  $10$  selbst hinausstreckt, wie in Fig. 1 gezeigt ist. Er enthält auch einen Befestigungsabschnitt  $76$ , der innerhalb des Detektors  $10$  angeordnet ist und dazu verwendet wird, die Wicklungen mit der Schaltung  $40$  zu verbinden.

Der verlängerte Bereich  $74$  des Fühlers  $14$  enthält eine Detektorspitze  $16$ , welcher ein Paar von dicken Wandungen  $78$ ,  $82$  und eine dünne Ausgleichswandung  $84$  folgen. Schlitzte  $86$ ,  $88$  und  $90$  sind zwischen den Wandungen  $16$ ,  $78$ ,  $82$ ,  $84$  gebildet. Die Schlitzte sind maschinell in den Kern  $72$  eingearbeitet. Wie am besten aus Fig. 7 hervorgeht, ist die Primärwicklung  $70$  in dem zwischen den beiden dicken Wandungen  $78$ ,  $82$  gebildeten Schlitz  $88$  angeordnet. Die Sekundärwicklung  $80$ , die

dem Patienten bei der Benutzung der Einrichtung  $10$  am nächsten ist, ist zwischen der Detektorspitze  $16$  und der ersten der dicken Wandungen  $78$  angeordnet. Die Sekundärwicklung  $90$  ist zwischen der zweiten dicken Wandung  $82$  und der Ausgleichswandung  $84$  angeordnet. Die Entfernung vom Mittelpunkt der Primärwicklung  $70$  zu der Detektorspitze  $16$  und zu der Ausgleichswandung  $84$  ist die gleiche. Damit sind die beiden Sekundärwicklungen  $80$ ,  $90$  bezüglich der Primärwicklung  $70$  symmetrisch angeordnet. (In Fig. 7 sind nur einige wenige Lagen einer jeden Wicklung dargestellt).

Die mechanische Stabilität der Wicklungen ist wichtig, weil alle durch die Anwesenheit des Metallbandes  $32$  auf dem Endotrachealschlauch  $24$  hervorgerufenen Änderungen des Flusses am Anfang gering sind. Daher kann bereits eine sehr geringe Instabilität ein Signal hervorrufen, welches dem Signal einer tatsächlichen Detektion entspricht. Um die Wicklungen so stabil wie möglich zu machen, sind die Wicklungen  $70$ ,  $80$ ,  $90$  so fest und so gleichmäßig wie möglich gewickelt. Dies kann durch spezialisierte Transformatorfirmen, wie die Newton Engineering Company of Newton, Massachusetts durchgeführt werden.

Wie in den Fig. 5, 6 dargestellt ist, sind ein Paar von horizontalen Rillen  $94$ ,  $96$  vorgesehen, um die Anschlußdrähte für die Wicklungen in die Schlitzte  $86$ ,  $88$ ,  $92$  zu führen, wo die Wicklungen hergestellt werden. Die Rille  $94$  trägt die Drähte  $98$  (in Fig. 8 gezeigt) für die Primärwicklung  $70$ , während die Rille  $96$  die (nicht gezeigten) Anschlußdrähte für die beiden Sekundärwicklungen  $80$ ,  $90$  führt. Die Anschlußdrähte für jede Wicklung sind paarweise mit nicht weniger als  $10$  Umdrehungen pro  $2,5$  cm verdrillt.

Wie in Fig. 8 gezeigt, sind die Anschlußdrähte  $98$  für die Primärwicklung  $70$  in einer vertikalen Rille in der Oberfläche der zweiten dicken Wandung  $82$  nach unten geführt. Dies erlaubt es, daß die Wicklung  $70$  in gleichmäßigen Lagen auf den Kern  $72$  gewickelt werden kann. Ähnliche Schlitzte sind für die Sekundärwicklungen  $80$ ,  $90$  vorgesehen. Bevor die Wicklungen jedoch tatsächlich hergestellt werden, wird die Oberfläche der Schlitzte  $86$ ,  $88$ ,  $92$ , auf die die Wicklung aufzuwickeln ist, mit einem Epoxyharz beschichtet, das einen thermischen Ausdehnungskoeffizient aufweist, der ungefähr dem des Kernmaterials selbst gleich ist. Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird das Harz ISOCHEM Nr. 213 mit dem Härtet 64LK verwendet, dadurch wird die mechanische Bewegung der Wicklungen begrenzt.

Jede Wicklung wird dann auf dem Kern  $72$  aufgebracht und bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel hat jede Wicklung  $300$  Wicklungen eines # 38AWG-Drahtes. Nachdem alle Lagen fertiggestellt sind, wird die gesamte Wicklung unter Vakuum mit dem gleichen Epoxy imprägniert. Alternativ kann das Epoxy nach der Fertigstellung einer jeden Lage aufgetragen werden. In jedem Falle wird dadurch eine mechanische und thermische Stabilität bewirkt.

Sobald die ersten Wicklungen  $70$ ,  $80$ ,  $90$  fertiggestellt sind, werden die Sekundärwicklungen  $80$ ,  $90$  auf Abgleich bzw. Symmetrie getestet. Im idealen Falle sollte jede Sekundärwicklung dieselbe Anzahl von Windungen aufweisen. Jedoch können die beiden Sekundärwicklungen  $80$ ,  $90$  aus irgendeinem Grunde nicht präzise abgeglichen sein, was durch die vierte Wicklung  $95$  korrigiert werden kann, welche einige wenige Windungen aufweist und die im Schlitz  $104$ , welche in den Fig. 5 und 7 dargestellt ist, plaziert wird. Die Epoxy-Behandlung für die vierte Wicklung  $95$  ist dieselbe wie für die ande-

ren.

Die Anschlußdrähte von den Wicklungen werden in ihren entsprechenden horizontalen Schlitzten 94, 96 zu dem Befestigungsabschnitt 76 des Kerns 72 zurückgeführt. Der Befestigungsabschnitt 76 weist eine Reihe von sechs Löchern 106 auf, welche in den Fig. 5,7 dargestellt sind, in welchen (nicht gezeigte) Anschlußstifte befestigt werden. Die Anschlußdrähte sind mit den Stiften verbunden, die zu dem übrigen Teil der Schaltung 40 führen. Im einzelnen sind die Anschlußdrähte der Primärwicklung mit den ersten beiden Stiften verbunden. Die der Spitze 16 nächste Sekundärwicklung 80 ist mit dem dritten und dem fünften Stift verbunden, während die andere Sekundärwicklung 90 mit dem dritten und vierten Stift verbunden ist (wodurch die Sekundärwicklungen in Serie geschaltet werden). Die vierte Wicklung 95 ist mit dem sechsten Stift und dem vierten Stift verbunden. Der Wickelsinn dieser Wicklung 95 hängt davon ab, welche der Sekundärwicklungen 80, 90 die zusätzlichen Wicklungen benötigt.

Der thermische Ausdehnungskoeffizient ist wichtig für den Fühler 14. Der Kern 72 sollte keinen größeren Ausdehnungskoeffizient haben als  $1,8 \times 10^{-5}$  inch/ $^{\circ}$ F und das für die Bindung der Wicklungen verwendete Epoxy sollte einen ähnlichen haben. Das obengenannte Kernmaterial und Epoxy sind geeignet. Darüberhinaus ist ein spezieller Ausdehnungsschlitz 106 neben der Ausgleichswandung 84 für die von der Spitze 16 am weitesten entfernte Sekundärwicklung 90 angeordnet. Dies bedeutet, daß jede thermische Ausdehnung der Sekundärwicklungen 80, 90 stärker symmetrisch ausgeglichen werden.

Im zusammengebauten Zustand wird der Fühler 40 durch einen Zyklus zwischen hohen und niedrigen Temperaturen weiter stabilisiert. Zuerst wird er bei 60 $^{\circ}$ C für 24 Stunden gebacken. Dann durchläuft er einen Zyklus zwischen -15 $^{\circ}$ C und 70 $^{\circ}$ C zehnmal. Dies beschleunigt den Stabilisierungsprozeß und die Bindung des Drahtes auf den Kern 72. Der sich ergebende Fühler ist hochstabil, sowohl mechanisch als auch thermisch.

20

25

30

40

45

50

55

60

65

3813479

Nummer:  
Int. Cl.<sup>4</sup>:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

38 13 479  
A 61 B 5/06  
21. April 1988  
10. November 1988

FIG 1

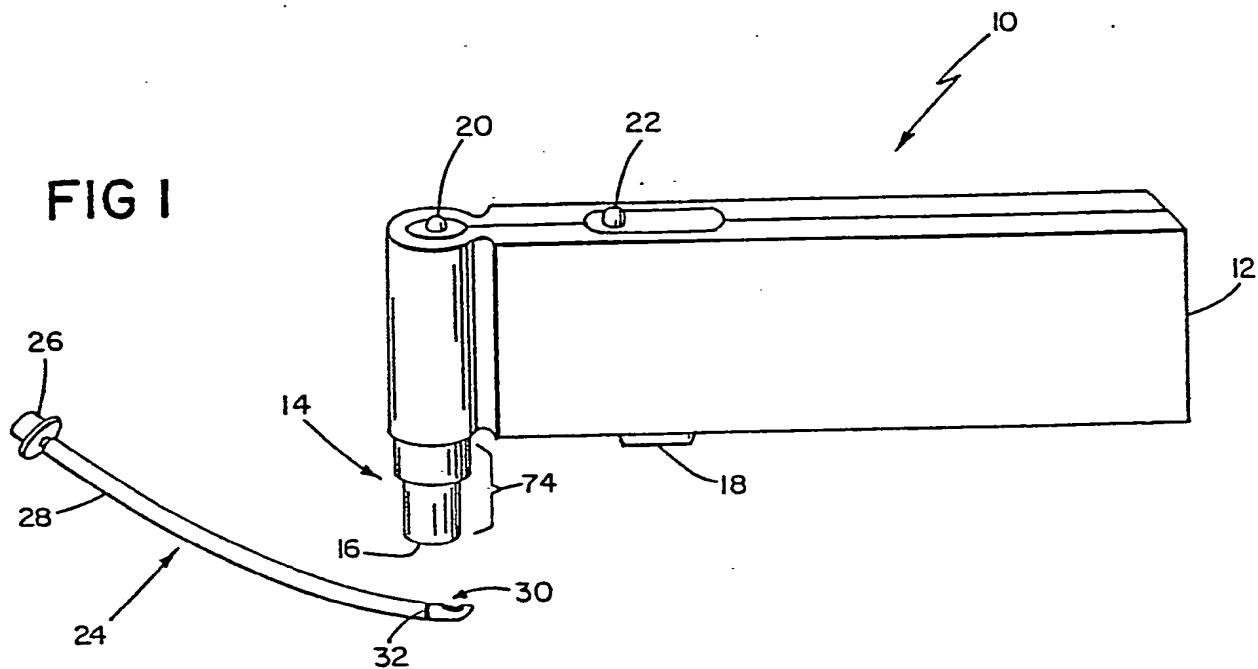
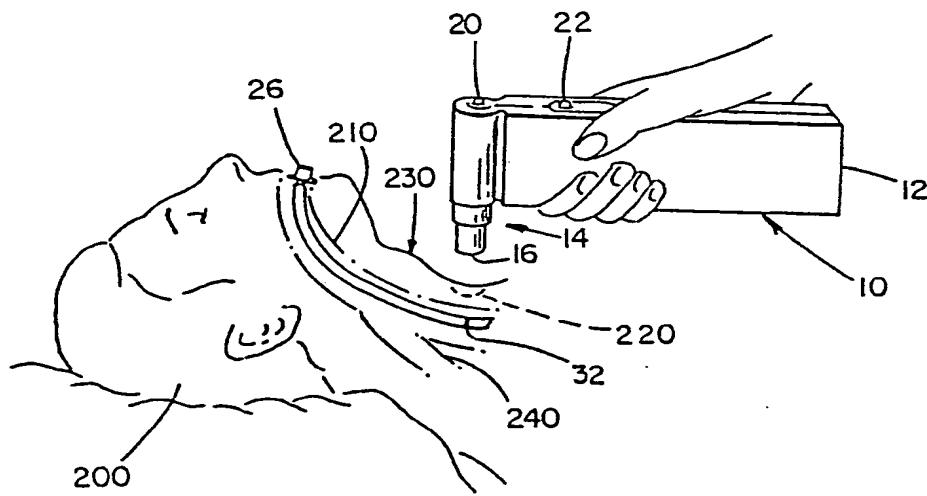


FIG 2



808 845/545

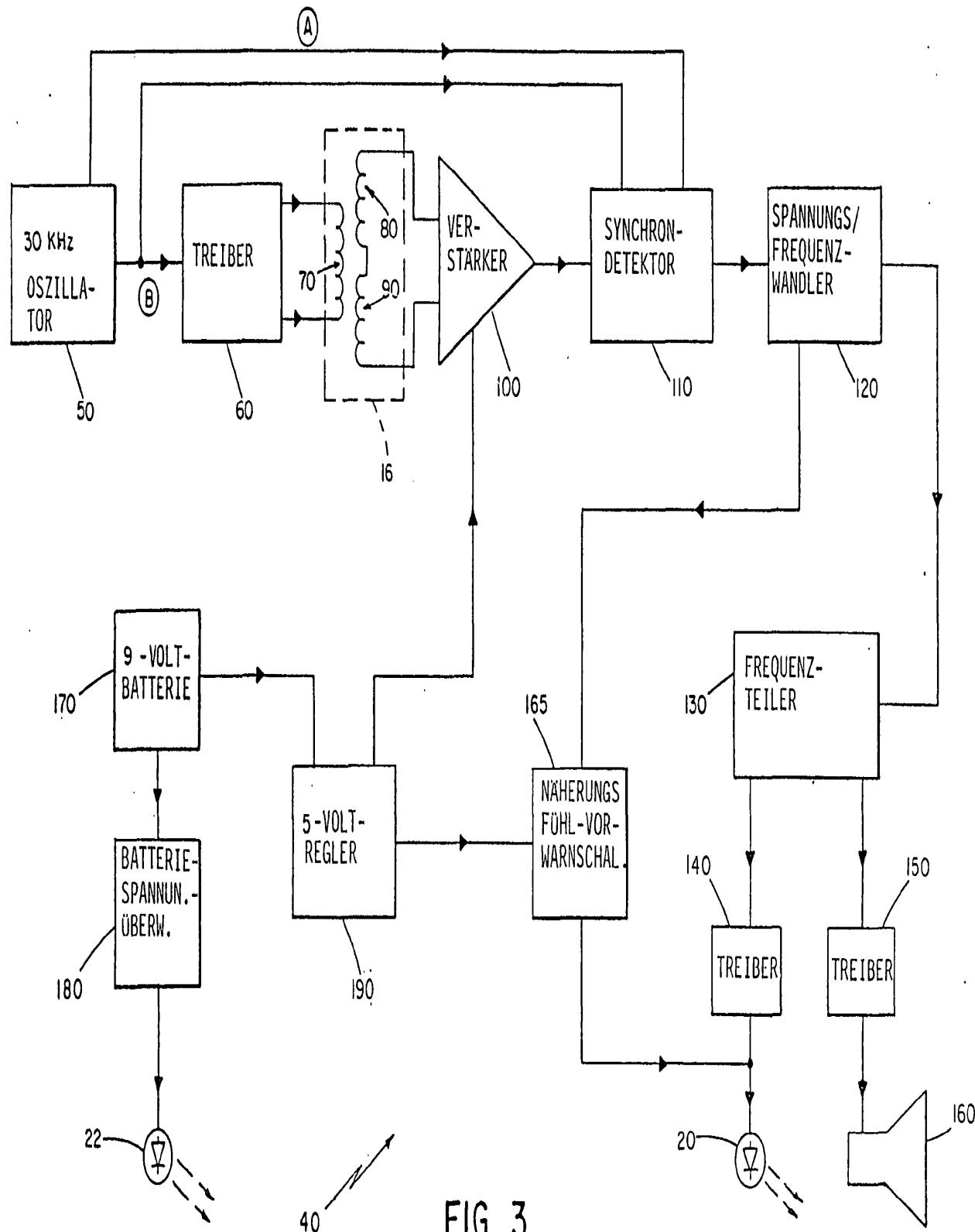


FIG 3

3813479

24. 11.

3813476

2

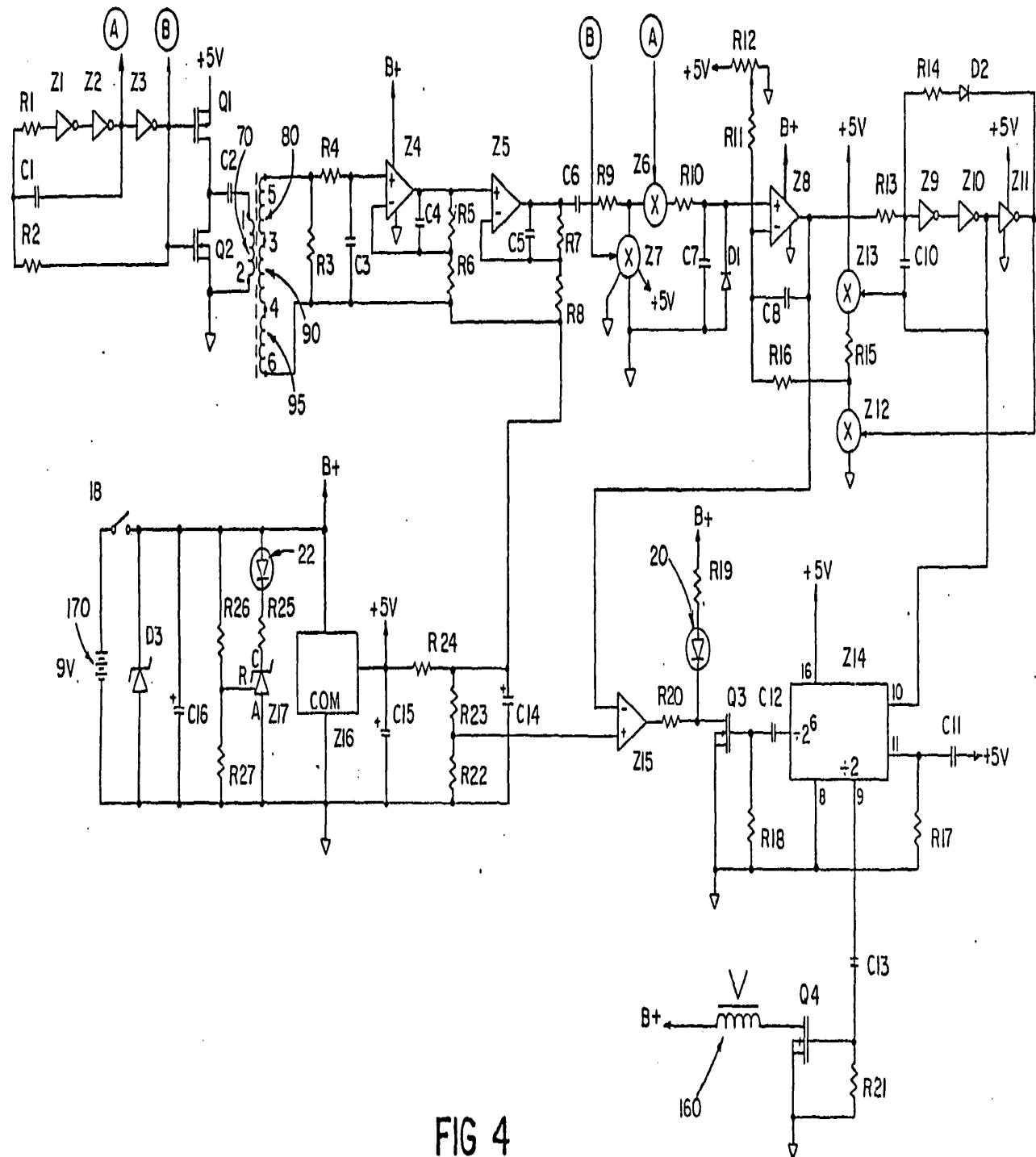


FIG 4

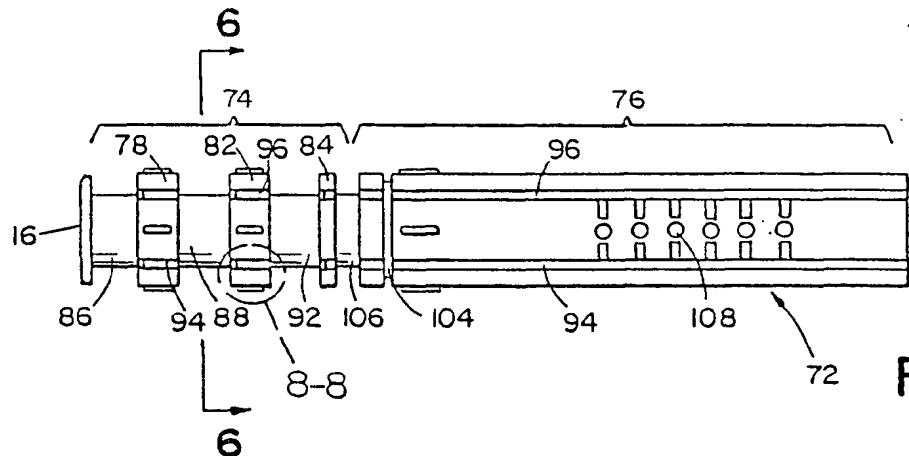


FIG 5

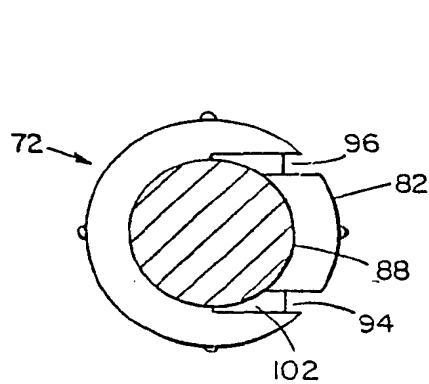


FIG 6

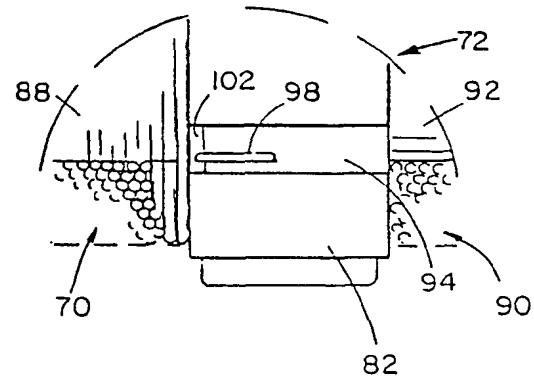


FIG 8

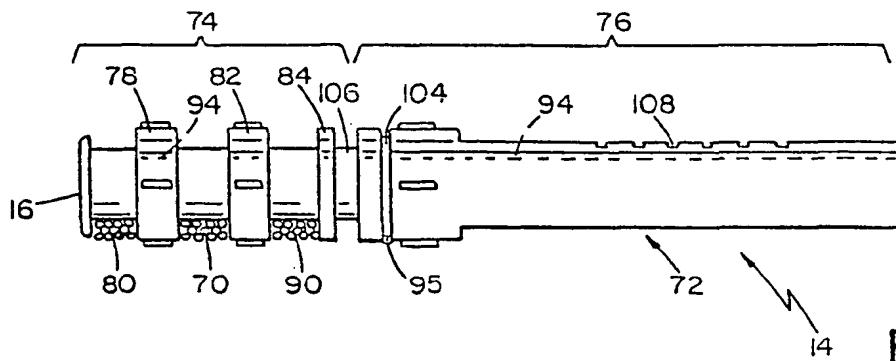


FIG 7